Vergleichende Untersuchungen von Kreislaufvolumen und Blutdruck mit elektrokardiographischen Veränderungen bei angeborenen Herzfehlern

---

von

Walburga Bayer

aus Prag/CSR

1966

1966 № 246

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535718_0028

Aus der Kinderklinik der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. med. A.Windorfer

Vergleichende Untersuchungen von Kreislaufvolumen und Blutdruck mit elektrokardiographischen Veränderungen bei angeborenen Herzfehlern.

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Vorgelegt von
Walburga Baver
aus Prag/CSR

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen
Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan: Prof. Dr. med. K.G.Ober
Referent: Priv. Doz. Dr. med. H.Gutheil
Korreferent: Prof. Dr. med. A.Windorfer
Tag der mündlichen Prüfung: 5.November 1966

Inhalt

Seite

I. Einleitung 1

II. Untersuchungsergebnisse 3

Sauerstoffbestimmung, Berechnung der Kreislaufvolumina

1. Beziehungen von systolischem Pulmonalisdruck zur Shuntmenge . . . 12

2. Beziehung zwischen Shuntvolumen und systolischem Druck im rechten Ventrikel 2o

3. Vergleich von Ventrikeldruckquotient und Shuntvolumen 23

4. Beziehungen zwischen dem Summenquotienten und dem Shuntvolumen . . 25

5. Körperliche Entwicklung und Shuntvolumen 29

III. Besprechung der Untersuchungsergebnisse 32

IV. Zusammenfassung 34

V . Literaturangabe 35

I. Einleitung

In steigendem Maße werden heute Patienten mit angeborenen Herzfehlern bereits im frühen Säuglings- oder Kleinkindesalter einer speziellen Herzdiagnostik zugeführt. Da zu diesem Zeitpunkt eine Operation aus technischen Gründen sehr schwierig und mit einem großen Risiko belastet ist, wird man auch eingreifende Untersuchungsmethoden, wie etwa die Einführung eines Herzkatheters, auf solche Fälle beschränken, bei denen unmittelbar über eine Operation des Fehlers zu entscheiden ist. Bei den übrigen Kindern wird man in regelmäßigen Abständen Verlaufskontrollen vornehmen.

Die Herzkatheteruntersuchung kann zwar die besten Aufschlüsse über die augenblickliche hämodynamische Situation geben, kann aber nicht beliebig oft wiederholt werden; für Verlaufskontrollen ist sie also wenig geeignet. Aus Gründen der Strahlenbelastung wird man auch mit häufigen Röntgenuntersuchungen etwas zurückhaltender sein. Zur Beobachtung der Kinder vor der Operation und zur Beurteilung des Operationserfolges bietet sich also in erster Linie das Elektrokardiogramm an. Hierbei können zunächst die Druckwerte in den einzelnen Herzabschnitten abgeschätzt werden. Da das Größenverhältnis von R- zu S-Zacken in den Brustwandableitungen durch das Massenverhältnis von rechtem zu linkem Ventrikel bestimmt wird, besteht die Möglichkeit, Verschiebungen im Muskelmassenverhältnis beider Kammern graphisch durch die sogen. Relationskurven darzustellen. Das Verhältnis von R zu R+S (Relationsquotient) wird dabei in Prozentwerten angegeben; außerdem werden noch die absoluten Werte der Amplitudenhöhe für R- und S-Zacken eingetragen. Hypertrophieformen der rechten oder linken Kammer oder die Überlastung beider Kammern ergeben unterschiedliche Kurvenbilder. (15)

Zusammenhänge zwischen den Zeichen einer Rechtshypertrophie und den Druckverhältnissen im rechten Ventrikel sind in den letzten Jahren mehrfach aufgezeigt worden. In dieser Richtung gehen auch die Untersuchungen von GUTHEIL (1o), der nach quantitativer Auswertung der Relationskurven und der Berech-

nung eines Quotienten aus dem im rechten Ventrikel herrschenden systolischen Druckwert und dem entsprechenden Wert im linken Ventrikel zeigen konnte, daß zwischen elektrokardiographischen Veränderungen und den intrakardial gemessenen systolischen Druckwerten enge positive Korrelationen bestehen. Danach ist es möglich, mit Hilfe der folgenden Formel vom Elektrokardiogramm direkt auf den Druck im Herzen zu schließen:

$$Q_V = \frac{Q_S}{U}$$

Q_V = Ventrikeldruckquotient, der als Maßzahl für das Muskelmassenverhältnis beider Kammern angesehen wird.
Q_S = Summenquotient von R zu R+S in drei rechtspräkordialen und drei linkspräkordialen Ableitungen des Elektrokardiogramms.
U = Umrechnungsfaktor, der angibt, wieviel mal größer der Summenquotient als der Ventrikeldruckquotient ist. Er schwankt in seiner Höhe bei den einzelnen Fehlern zwischen 1,5 und 2,4 . Für 100 Fälle betrug er 1,67.

Da aber für eine Indikation zur Operation von Herz-Gefäß-Mißbildungen neben den Druckverhältnissen in den einzelnen Kreislaufabschnitten vor allen Dingen die Größe des Shuntvolumens von Bedeutung ist, soll nun untersucht werden, ob irgendwelche Beziehungen bestehen zwischen der Shuntgröße und

1. den systolischen Druckwerten im rechten Ventrikel und
2. in der A.pulmonalis
3. dem Ventrikeldruckquotienten
4. elektrokardiographischen Veränderungen
5. der körperlichen Entwicklung der Kinder.

Das Shuntvolumen wurde nach dem direkten FICKschen Prinzip berechnet. Hierzu ist zunächst die Kenntnis des Normsauerstoffverbrauchs erforderlich. Da, vor allem bei kleineren Kindern, die direkte Messung des Sauerstoffverbrauchs unter Katheterbedingungen nur schlecht oder überhaupt nicht möglich ist, werden zur Berechnung Standardtabellen benutzt, mit deren Hilfe man aus Alter und Gewicht den Verbrauch an Sauerstoff abschätzen kann. Exakte Werte wird man dabei jedoch nie erhalten. In den folgenden Untersuchungen werden die Werte der Standardtabelle nach HARRIS-BENEDICT und die neueren Angaben von RUDOLPH und CAYLER (13) miteinander verglichen.

II. Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungen dieser Arbeit stammen von 121 Kindern im Alter von 2 1/2 bis 15 Jahren, die wegen angeborener Herz-Gefäß-Mißbildungen zur speziellen Herzdiagnostik in der Univ.-Kinderklinik Erlangen stationär aufgenommen wurden. Es handelte sich bei den Patienten um 4o Kinder mit Vorhofseptumdefekten, 3o mit offenem Ductus Botalli und 51 mit Ventrikelseptumdefekten. Nach der Einteilung von J.SCHMIDT (15) sollen die Fehler nach ihrer Hämodynamik betrachtet werden, also zunächst der Vorhofseptumdefekt, der zu einer Volumenüberlastung der rechten Kammer führt, dann der offene Ductus Botalli mit einer Volumenüberlastung der linken Kammer, zuletzt, mit einer Belastung beider Kammern, der Ventrikelseptumdefekt. Alle drei Fehlergruppen gehen gewöhnlich mit einem Links-Rechts-Shunt einher. Jene Kinder, bei denen es im Gefolge von Komplikationen, wie begleitender Mißbildungen oder pulmonaler Hypertonie, zum Druckangleich zwischen Groß- und Kleinkreislauf und danach zur Shuntumkehr gekommen ist, wurden in den Besprechungen ausgeklammert. Betrachtet wurden allerdings noch Fälle mit Druckangleich, bei denen neben einem überwiegenden Links-Rechts-Shunt gleichzeitig ein geringer Rechts-Links-Shunt nachzuweisen war.

Da im Rahmen dieser Arbeit vor allem die Ergebnisse der hämodynamischen Untersuchungen durch den venösen Herzkatheter und die Veränderungen im Elektrokardiogramm betrachtet werden sollen, wird auf andere Methoden, wie z.B. die Röntgenuntersuchung und das Phonokardiogramm nicht näher eingegangen.

Bei den angeborenen Herzfehlern reagiert das Elektrokardiogramm entsprechend den damit verbundene Druck- und Volumenbelastungen der linken oder rechten Herzanteile. Man sieht Zeichen einer Kammer- oder Vorhofhypertrophie, in gewissen Fällen auch Leitungsstörungen. Für die einzelnen Fehler bestehen mehr oder weniger charakteristische Bilder, die jedoch in der Regel nicht pathognomonisch sind. Außerdem gibt es Herzfehler mit völlig normalem Elektrokardiogramm. Beim unkomplizierten kleinen Ventrikelseptumdefekt im muskulären Anteil der Kammerscheidewand und auch beim Ductus Botalli mit nur kleinem Links-Rechts-Shunt ist recht häufig im Elektrokardiogramm kein pathologischer Befund zu erheben, denn ohne eine Druckerhöhung tritt

keine Verschiebung im Muskelmassenverhältnis ein (15).
Als Leitungsstörung der Erregung ist unter der Gruppe der hier untersuchten Kinder am häufigsten der unvollständige Rechtsschenkelblock zu sehen. Man versteht darunter die Aufsplitterung der QRS-Gruppe bei normaler zeitlicher Dauer. Bei normalem Lagetyp muß dieser inkomplette Rechtsschenkelblock beim Kind keine pathologische Bedeutung haben, ätiologisch sollte man ein konnatales Vitium jedoch ausschließen (7). Zu beachten ist, daß man diese Leitungsstörung in etwa 7o % aller Vorhofseptumdefekte, sowohl beim Typ des offenen Foramen ovale secundum als auch beim Ostium-primum-Defekt zu sehen bekommt. Linksventrikuläre Leitungsstörungen kann man in seltenen Fällen beim offenen Ductus Botalli beobachten; dies ist dann in der Regel ein Hinweis auf einen sehr weiten Ductus mit entsprechend großem Shuntvolumen. (15)
Während die Röntgenuntersuchung, das Elektrokardiogramm und das Phonokardiogramm weitgehend gefahrlos und daher auch jederzeit zu Verlaufskontrollen heranzuziehen sind, stellt die Herzkatheteruntersuchung ein Verfahren dar, das mit einem, wenn auch sehr geringen Risiko belastet ist (unter 0,1 %) und außerdem nicht beliebig oft wiederholt werden kann (1o). Die Aufgaben der Katheteruntersuchung sind:

1. direkter Defektnachweis durch Sondierung
2. Druckmessung
3. Bestimmung der Kreislaufgrößen, Shuntvolumina.

Bei der Austastung kann durch die Lage des Katheters und durch das Ausmaß der Bewegungen der Katheterspitze die Größe der einzelnen Herzhöhlen in ziemlich exakter Weise bestimmt werden. Recht häufig gelingt es, Septumdefekte und Kurzschlußverbindungen zwischen Aorta und A.pulmonalis direkt zu sondieren, womit die Diagnose gesichert werden kann.
Mit Hilfe der intrakardialen Druckmessung lassen sich Angaben machen über die Größe eines Defektes und damit auch über seine funktionelle Bedeutung. Große Druckgradienten zwischen dem rechten und dem linken Herzen oder zwischen den großen Gefäßen sprechen für hämodynamisch wenig bedeutende Defekte, während andererseits große Defekte druckangleichende Wirkung haben. Dies gilt vor allem für den offenen Ductus Botalli und für den Ventrikelseptumdefekt. Beim Vorhofseptumdefekt allerdings führen selbst große Defekte nicht zu einem vollständigen Druckangleich zwischen den Vorhöfen.

Zur Bestimmung der Volumina von Groß- und Kleinkreislauf, sowie zur Berechnung der Kurzschlußvolumina nach dem FICKschen Prinzip, ist zunächst die Kenntnis des Sauerstoffverbrauchs pro Minute erforderlich.

Der Sauerstoffverbrauch kann beim Schulkind, wie auch beim Erwachsenen, ohne weiteres im geschlossenen oder im offenen System bestimmt werden. Bei Säuglingen und Kleinkindern ist dies schwieriger, da man kein übliches Mundstück verwenden kann. Für diese Altersgruppe haben RUDOLPH und CAYLER (13) eine Methode im offenen System entwickelt. Es wird dabei anstatt eines Mundstückes eine Maske verwendet, durch die ein rascher Luftstrom erfolgt. Die Ausatemluft wird in einem Douglas-Sack gesammelt; aus der Differenz des Sauerstoffgehaltes der Einatmungs- und der Ausatmungsluft kann dann der Sauerstoffverbrauch bestimmt werden. Die beiden Autoren gaben folgende Zahlen als Durchschnittswerte an:

0 Monate	- 3 Monate	160 ml/min/m^2
3 Monate	- 1 Jahr	200 - " -
1 Jahr	- 5 Jahre	180 - " -
5 Jahre	- 10 Jahre	160 - " -
10 Jahre	- 15 Jahre	150 - " -
über 15 Jahre		140 - " -

Die Bestimmung der Körperoberfläche aus Körpergröße und Gewicht ist in Abb.1 dargestellt.

Bei den 121 durchuntersuchten Kindern mit angeborenen Herzfehlern lagen die nach den Angaben von RUDOLPH und CAYLER errechneten Sauerstoffwerte im Mittel um 60 % höher als die vergleichbaren Werte der Standard-Tabelle nach HARRIS-BENEDICT, s.Tab.1.

Die untersuchten Kinder waren zwischen 2 1/2 und 15 Jahren alt; anhand des errechneten Sauerstoffverbrauchs zeigte sich, daß der absolute Sauerstoffverbrauch zwar mit dem Alter ansteigt, die Sauerstoffaufnahme je Kilogramm Körpergewicht jedoch im Kleinkindesalter am höchsten ist. Mit etwa 15 Jahren werden dann die Werte wie bei Erwachsenen erreicht, also 2,38 bis 4,48 ml/min/kg KG (s.Müller-Seifert, v.Kress: Taschenbuch der medizinisch-klinischen Diagnostik, 1962), s.auch Tab.2.

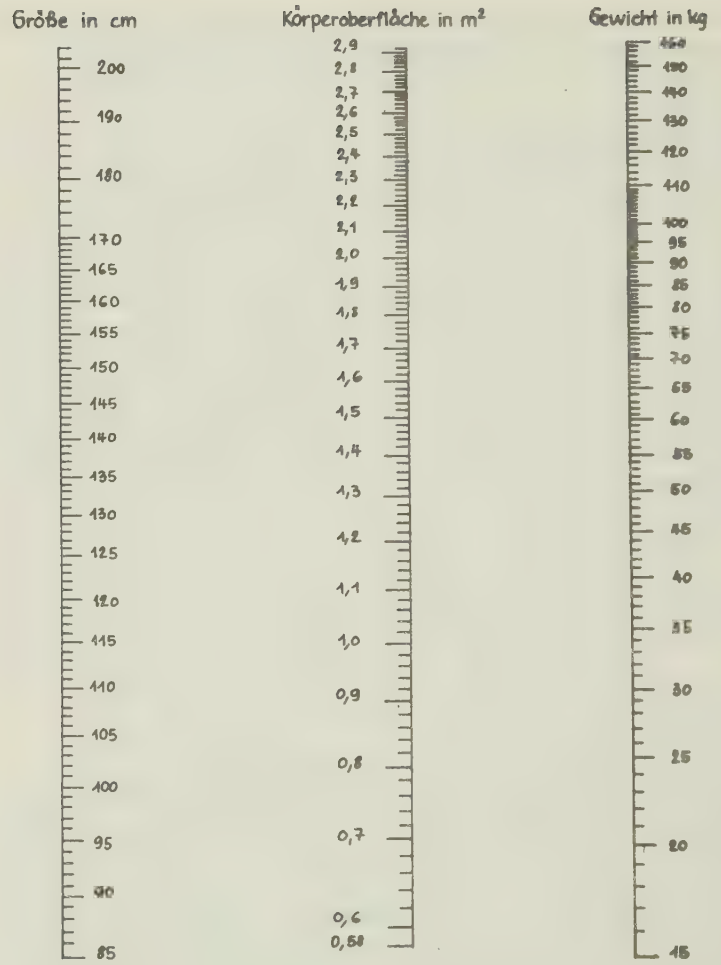

Abb.1: Nomogramm zur Bestimmung der Körperoberfläche aus Gewicht und Größe. Man verbinde den zutreffenden Punkt der linken Skala mit dem auf der rechten. Die Gerade zwischen beiden Punkten schneidet die mittlere Skala im gesuchten Punkt.(Aus: wissenschaftliche Tabellen, J.R.GEIGY, Basel 1955)

Summanden - Tabelle (Harris - Benedict - Standard)

Grössenzahlen						Gewichtszahlen						Alterszahlen					
cm	M	W	cm	M	W	kg	M	W	kg	M	W	J	M	W	J	M	W
90	450	167	145	725	268	10	138	86	65	894	622	1	7	5	51	345	238
91	455	168	146	730	270	11	151	108	66	908	631	2	14	9	52	351	243
92	460	170	147	735	272	12	165	115	67	921	641	3	20	14	53	358	248
93	465	172	148	740	274	13	179	124	68	935	650	4	27	19	54	365	253
94	470	174	149	745	276	14	193	134	69	949	660	5	34	23	55	372	257
95	475	176	150	750	278	15	206	143	70	963	669	6	41	28	56	378	262
96	480	178	151	755	279	16	226	153	71	976	679	7	47	33	57	385	267
97	485	179	152	760	281	17	234	163	72	990	680	8	54	37	58	392	271
98	490	181	153	765	283	18	248	172	73	1004	698	9	61	42	59	399	276
99	495	183	154	770	285	19	261	182	74	1018	708	10	68	47	60	405	281
100	500	185	155	775	287	20	275	191	75	1031	717	11	74	51	61	412	285
101	505	187	156	780	289	21	289	201	76	1045	727	12	81	56	62	419	290
102	510	189	157	785	290	22	303	216	77	1059	736	13	88	61	63	426	295
103	515	191	158	790	292	23	316	220	78	1073	746	14	95	65	64	432	299
104	520	192	159	795	294	24	330	230	79	1086	756	15	101	70	65	439	304
105	525	194	160	800	296	25	344	239	80	1100	765	16	108	75	66	446	309
106	530	196	161	805	298	26	358	249	81	1114	775	17	115	79	67	453	313
107	535	198	162	810	300	27	371	258	82	1128	784	18	122	84	68	459	318
108	540	200	163	815	302	28	385	268	83	1141	794	19	128	89	69	466	323
109	545	202	164	820	303	29	399	277	84	1155	803	20	135	94	70	473	327
110	550	204	165	825	305	30	413	287	85	1169	813	21	142	98	71	480	332
111	555	205	166	830	307	31	426	296	86	1183	822	22	149	103	72	486	337
112	560	207	167	836	309	32	440	306	87	1196	832	23	155	108	73	493	341
113	565	209	168	841	311	33	454	316	88	1210	842	24	162	112	74	500	346
114	570	211	169	846	313	34	468	325	89	1224	851	25	169	117	75	507	351
115	575	213	170	851	315	35	481	335	90	1238	861	26	176	122	76	513	355
116	580	215	171	856	316	36	495	344	91	1251	870	27	182	126	77	520	360
117	585	216	172	861	318	37	509	354	92	1265	880	28	189	131	78	527	365
118	590	218	173	866	320	38	523	363	93	1279	889	29	196	136	79	534	369
119	595	220	174	871	322	39	536	373	94	1293	899	30	203	140	80	540	374
120	600	222	176	876	324	40	550	383	95	1306	908	31	209	145	81	547	379
121	605	224	176	881	326	41	564	392	96	1320	918	32	216	150	82	554	383
122	610	226	177	886	327	42	578	402	97	1334	928	33	223	154	83	561	388
123	615	228	178	891	329	43	591	411	98	1348	937	34	230	159	84	567	393
124	620	229	179	896	331	44	605	421	99	1361	947	35	236	164	85	574	397
125	625	231	180	901	333	45	619	430	100	1375	956	36	243	168	86	581	402
126	630	233	181	906	335	46	633	440	101	1389	966	37	250	173	87	588	407
127	635	235	182	911	337	47	646	449	102	1403	978	38	257	178	88	594	411
128	640	237	183	916	339	48	660	459	103	1416	986	39	263	182	89	601	416
129	645	239	184	921	340	49	674	468	104	1430	996	40	270	187	90	608	421
130	650	241	185	926	342	50	688	478	105	1444	1004	41	277	192	91	615	426
131	655	242	186	931	344	51	701	488	106	1458	1014	42	284	196	92	621	430
132	660	244	187	936	346	52	715	497	107	1471	1023	43	290	201	93	628	435
133	665	246	188	941	348	53	729	507	108	1485	1033	44	297	206	94	635	440
134	670	248	189	946	350	54	743	516	109	1499	1042	45	304	210	95	642	444
135	675	250	190	951	352	55	756	526	110	1513	1052	46	311	215	96	648	449
136	680	252	191	956	353	56	770	536	111	1526	1061	47	317	220	97	655	454
137	685	253	192	961	355	57	784	545	112	1540	1071	48	324	224	98	662	458
138	690	255	193	966	357	58	798	555	113	1554	1081	49	331	229	99	668	463
139	695	257	194	971	358	59	811	564	114	1568	1090	50	338	234	100	676	468
140	700	259	195	976	361	60	825	574	115	1581	1100						
141	705	261	196	981	363	61	839	583	116	1595	1109						
142	710	263	197	986	364	62	853	593	117	1609	1119						
143	715	266	198	991	366	63	866	602	118	1623	1128						
144	720	266	199	996	368	64	880	612	119	1636	1138						
145	725	268	200	1001	370	65	894	622	120	1650	1148						

Grundzahl männlich	= 66
Grundzahl weiblich	= 655

Tab.1: Standardtabelle zur Berechnung des Normsauerstoff-verbrauchs nach HARRIS-BENEDICT.
O_2-Verbrauch = (Grundzahl + Gewichtszahl - Alterszahl):7

Alter in Jahren	Anzahl der Kinder	mittlerer Sauerstoffverbrauch in ml/min		Körpergewicht in kg	Sauerstoffverbr. in ml/min/kg KG	
		HARRIS-BENEDICT	RUDOLPH u.CAYLER		HARRIS-BENEDICT	RUDOLPH CAYLER
2	2	28	87	10,6	2,64	8,21
3	5	64	106	13,7	4,67	7,74
4	13	76	111	14,7	5,10	7,55
5	17	85	121	15,8	5,38	7,65
6	20	93	119	18,4	5,05	6,47
7	17	80	130	20,0	4,00	6,50
8	16	90	137	21,3	4,23	6,43
9	6	107	144	22,7	4,71	6,34
10	5	83	157	27,1	3,07	5,79
11	10	105	160	28,6	3,67	5,59
12	1	138	192	38,9	3,55	4,68
13	3	100	200	42,0	2,38	4,80
14	4	90	183	40,5	2,20	4,52
15	2	144	217	48,5	2,52	4,45
	121					

Tab.2: Ergebnisse der Berechnung des Sauerstoffverbrauchs und Angaben über das Körpergewicht bei 121 Kindern mit angeborenen Herzfehlern. Die Tabelle zeigt außerdem den Vergleich zweier Methoden zur Sauerstoffbestimmung. s.auch Abb. 2 und Abb.3.

Zur Bestimmung der Kreislaufvolumina kam das FICKsche Prinzip zur Anwendung.

Das Minutenvolumen des linken und des rechten Herzens ist beim Fehlen von Kurzschlußverbindungen zwischen der arteriellen und der venösen Strombahn gleich. Daher genügt es in diesem Falle, dasjenige des rechten Herzens zu bestimmen. Ist der Sauerstoffgehalt des arteriellen und des venösen Blutes (in unseren Berechnungen nach van SLYKE bestimmt), also die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz, bekannt, so kennt man zunächst die Menge an Sauerstoff, die jeweils von 100 ml Blut, die durch die Lunge geflossen sind, aufgenommen wurde. Bestimmt man weiter die Menge an Sauerstoff, die pro Minute aufgenommen worden ist, dann läßt sich diejenige Menge Blut bestimmen, die

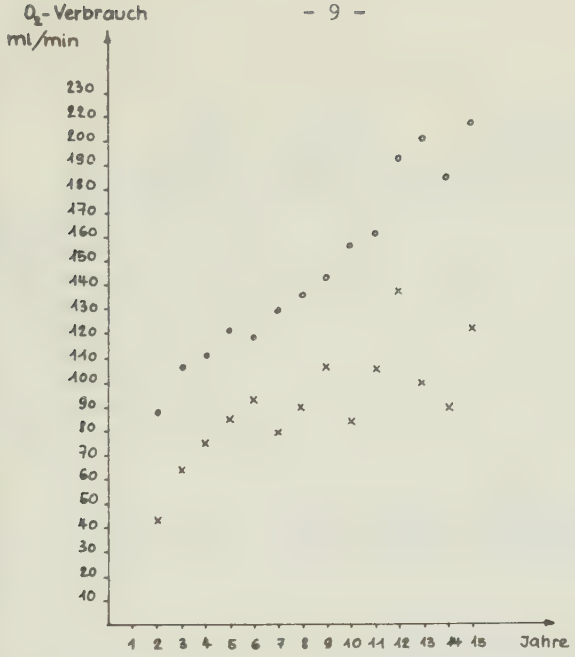

Abb.2: x sind die Mittelwerte des Sauerstoffverbrauchs nach der HARRIS-BeNEDICT-Standardtabelle.
o = Mittelwerte nach RUDOLPH und CAYLER

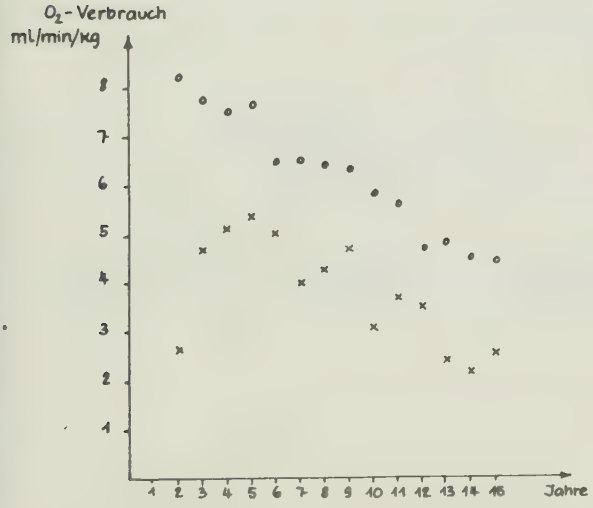

Abb.3: die in Tab. 3 aufgeführten Werte für den Sauerstoffverbrauch sind hier nochmals graphisch dargestellt.

durch die Lunge geflossen ist, also vom rechten Herzen ausgeworfen worden ist:

$$\text{Herzminutenvolumen} = \frac{\text{Sauerstoffaufnahme in ml/min} \times 100}{\text{arterio-venöse } O_2\text{-Differenz in Vol.\%}}$$

Es wird dabei vorausgesetzt, daß der Sauerstoffverbrauch der Lunge selbst konstant ist und daher gegenüber dem Sauerstoffverbrauch des Gesamtorganismus zu vernachlässigen. Bestehen dagegen Kurzschlüsse zwischen arteriellem und venösem System, sei es im Herzen selbst oder im Bereich der großen Gefäße, so bestehen auch zwischen Lungenkreislauf und Körperkreislauf bisweilen erhebliche Unterschiede. Beide Kreisläufe müssen dann getrennt berechnet werden.

1. Großkreislauf-Minutenvolumen:

$$\frac{\text{Sauerstoffverbrauch in ml/min} \times 100}{O_2\text{-Gehalt A.femoralis in Vol.\%} - O_2\text{-Gehalt V.cava in Vol.\%}}$$

2. Kleinkreislauf-Minutenvolumen:

$$\frac{\text{Sauerstoffverbrauch in ml/min} \times 100}{O_2\text{-Gehalt V.pulmonalis} - O_2\text{-Gehalt A.pulmonalis in Vol.\%}}$$

Zur Shuntberechnung ist außerdem die Bestimmung des effektiven pulmonalen Minutenvolumens erforderlich.

3. effektives Kleinkreislauf-Minutenvolumen:

$$\frac{\text{Sauerstoffverbrauch in ml/min} \times 100}{O_2\text{-Gehalt V.pulmonalis in Vol.\%} - O_2\text{-Gehalt V.cava in Vol.\%}}$$

4. Shuntvolumina:

Links-Rechts-Shunt = Kleinkreislaufminutenvolumen - effektives Pulmonalvolumen

Rechts-Links-Shunt = Großkreislaufminutenvolumen - effektives Pulmonalvolumen (2)

Bei 121 Kindern, die einen reinen, oder zumindest überwiegenden Links-Rechts-Shunt aufwiesen, wurden nach diesen Angaben die in Tab.3 zusammengestellten Durchschnittswerte errechnet.

Mißbildung	Kleinkreislauf-Minutenvolumen in l/min		Links-Rechts-Shunt in l/min	
	HARRIS-BENEDICT	RUDOLPH und CAYLER	HARRIS-BENEDICT	RUDOLPH und CAYLER
Vorhofseptumdefekt 4o Kinder	5,1	8,2	3,3	5,1
Ductus Botalli apertus 3o Kinder	5,1	6,9	2,5	3,5
Ventrikelseptumdefekt 51 Kinder	3,5	5,6	1,4	2,3

Tab.3: für 121 Kinder werden die Durchschnittswerte des Kleinkreislauf-Minutenvolumens und des Shuntvolumens angegeben, die nach der HARRIS-BENEDICT-Standardtabelle und nach den von RUDOLPH und CAYLER angegebenen Werten errechnet wurden.

Um einen genaueren Einblick in die augenblickliche Kreislaufsituation eines Patienten zu gewinnen, kann man neben der Angabe der Shuntmenge in l/min außerdem noch zeigen, welchen prozentualen Anteil die Shuntmenge am Gesamtvolumen des Kleinkreislaufs hat. Bei den hier untersuchten Kindern zeigte sich folgendes:

1. Vorhofseptumdefekt: das arithmetische Mittel für das Shuntvolumen lag bei 61 % des Kleinkreislauf-Minutenvolumens. Die Werte schwankten zwischen 11 % und 85 %.
2. Ductus Botalli: das Mittel betrug 48 % des Kleinkreislauf-Minutenvolumens, bei Werten zwischen 14 und 71 %.
3. Ventrikelseptumdefekt: der Mittelwert des Shuntvolumens war 37 % des Kleinkreislauf-Minutenvolumens. Der höchste festgestellte Wert waren 74 %, es fanden sich mehrere Werte unter 1o % bei den kleinen Defekten im muskulären Anteil des Ventrikelseptums.

1. Beziehungen von systolischem Pulmonalisdruck zur Shuntmenge

a) Vorhofseptumdefekt

Als häufigste Defektbildung im Vorhofseptum ist der Septum-secundum-Defekt anzusehen; er ist im mittleren Anteil, in der Gegend des Foramen ovale zu suchen. Die Abgrenzung zwischen einem echten Defekt und einem offenen Foramen ovale kann Schwierigkeiten bereiten. Damit aber eine pathologische Leistung bei offenem Foramen ovale vermutet werden darf, muß die lichte Weite der Öffnung bei Neugeborenen mindestens 8 mm, bei Erwachsenen 15 mm betragen (9).
Wesentlich seltener sieht man den prognostisch ungünstigeren Defekt vom Typ des offenen Ostium primum. Dieser Defekt, der im unteren Anteil des Septums in unmittelbarer Nähe der Atrioventrikularklappen lokalisiert ist, ist meist mit Anomalien der Mitral-, seltener der Tricuspidalklappe verbunden. Es handelt sich bei Defekten in dieser Position in der Regel um besonders große Öffnungen, der untere Teil des Septums ist häufig überhaupt nicht angelegt.

Unter 121 Kindern mit angeborenen Herzfehlern konnte durch die spezielle Herzuntersuchung in 4o Fällen die Diagnose eines Vorhofseptumdefektes gestellt werden. Dabei fand sich:

4 mal eine funktionell unbedeutende Defektbildung im Sinne eines offenen Foramen ovale

28 mal ein echter Septum-secundum-Defekt

8 mal ein Defekt im Bereich des Ostium primum.

Das Blutvolumen, das beim Vorhofseptumdefekt als Links-Rechts-Shunt zusätzlich zum Lungenkreislaufvolumen hinzukommt, ist meist recht erheblich. So konnte bei einem 9-jährigen Kind (H.S.) ein arterio-venöses Shuntvolumen von 14,4 l/min errechnet werden. In diesem Fall betrug das Kleinkreislauf-Minutenvolumen 21,5 l/min (Sauerstoffbestimmung nach RUDOLPH und CAYLER). Bei derartig starker Volumenüberlastung des Lungenkreislaufs folgt, wenn man nichts unternimmt, eine Druckerhöhung. Die Frage eines Zusammenhangs zwischen Shuntgröße und Druck in der A. pulmonalis, also zwischen zwei Variablen, sollen nun statistisch untersucht werden.
Beziehungen zwischen zwei Variablen lassen sich durch den sog. Korrelationskoeffizienten r angeben. Der Korrelationskoeffizient wurde hier nach der Formel von PEARSON als Produktmomentkorrelation berechnet:

$$r_{xy} = \frac{S(x - Mx).(y - My)}{n \cdot sigma_x \cdot sigma_y}$$

$S(x - Mx).(y - My)$ stellt die Summe der Abweichungen der x- und der y-Werte vom zugehörigen Mittelwert Mx oder My dar.

n = Anzahl der Fälle

$sigma_x$ und $sigma_y$ ist die Standardabweichung der x- und y-Werte, sie drückt die Streuung um die jeweiligen Mittelwerte aus. Sigma wird nach folgender Formel bestimmt:

$$sigma_x = \pm\sqrt{\frac{S(x - Mx)^2}{n}}$$

oder

$$sigma_y = \pm\sqrt{\frac{S(y - My)^2}{n}}$$

Die Standardabweichung sigma stellt also die Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Abweichungen vom arithmetischen Mittel dar.

Der Korrelationskoeffizient r kann Werte zwischen - 1 und + 1 annehmen; r = 0 bedeutet, daß zwischen zwei Variablen keinerlei Zusammenhänge bestehen. Werte zwischen 0 und + 1 geben die verschiedenen Grade einer positiven Korrelation an; r = + 1 zeigt eine vollständige positive Übereinstimmung, d.h. der höchste Wert der einen Variablen entspricht dem höchsten Wert der anderen; r = - 1 bedeutet, daß der höchste Wert der einen dem niedrigsten Wert der anderen Variablen entspricht. Man bezeichnet dies als negative Korrelation.

Für die 40 Kinder mit Vorhofseptumdefekten ließ sich auf diese Art ein Korrelationskoeffizient von r = + 0,43 errechnen. Das bedeutet, daß zwischen den Shuntmengen und dem systolischen Druck in der A.pulmonalis nur ein sehr schwacherpositiver Zusammenhang besteht, so daß es nicht berechtigt ist, von der Höhe des pulmonalen Drucks auf die Größe des Shuntvolumens zu schließen.

Dieser Zusammenhang ist in Abb.5 in Form einer Punkteverteilung um eine gemeinsame Regressionslinie dargestellt. Aus den Werten für den Pulmonalisdruck und das Shuntvolumen wurde der arithmetische Mittelwert bestimmt; dabei ergab sich, daß y (= Shuntvolumen) 1,9 mal so groß ist wie x (= Pulmonalisdruck). Die arithmetischen Mittelwerte für x und y werden durch die gemeinsame Regressionslinie verbunden.

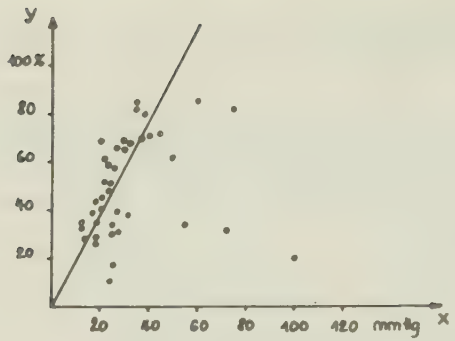

Abb.5: Verteilung der Werte für das Shuntvolumen (y), das in Prozentwerten des Kleinkreislauf-Minutenvolumens angegeben ist, und für den systolischen Druck in der A.pulmonalis (x) um eine gemeinsame Regressionslinie bei 4o Kindern mit Vorhofseptumdefekten.

b) Ductus Botalli apertus

Der offene Ductus Botalli ist als isolierte Mißbildung oder in Kombination mit anderen konnatalen Herz-Gefäß-Fehlern eine recht häufig beobachtete Anomalie. Nach Kl.GOERTTLER trifft man sie in 5 - 1o % aller Herz-Gefäß-Fehler als isolierte Mißbildung, außerdem in Kombination mit jedem 4.konnatalen Fehler. Unter 121 Kindern mit angeborenen Herzfehlern, die mit einem Links-Rechts-Shunt einhergingen, wurde diese Mißbildung 3o mal gesehen.

Eine Herzkatheteruntersuchung wird heute präoperativ nicht mehr routinemäßig durchgeführt, sofern Röntgenbild, Elektrokardiogramm und Herzschallbefund eindeutig für einen offenen Ductus Botalli sprechen. Bei der Sondierung des Herzens gelingt es in vielen Fällen, mit dem Katheter den Ductus direkt zu passieren, indem der Katheter vom rechten Ventrikel über die A.pulmonalis in die Aorta vorgeschoben wird, was an der Form der Druckkurven abzulesen ist. Bei 3o Kindern mit offenem Ductus Botalli gelang dieser direkte Nachweis in 14 Fällen.

Als sicherer Hinweis auf das Persistieren eines Ductus Botalli wird der Sauerstoffsprung zwischen dem rechten Ventrikel und der A.pulmonalis angesehen. Aus dem Sauerstoffverbrauch und den Differenzen in der Sauerstoffsättigung des Blutes wurden bei den 3o untersuchten Kindern Shuntvolumina zwischen 1,3 und 7,9 l/min errechnet; dies entspricht Werten zwischen 14 % und 71 % des Kleinkreislauf-Minutenvolumens. Bei dem Shunt von

7,9 l/min war das Lungenkreislauf-Minutenvolumen um das 3 1/2-fache gegenüber dem des Großkreislaufs gesteigert. Die Größe des Ductus kann ungefähr aus dem Verhalten des Druckes in der A.pulmonalis und in der Aorta ersehen werden; eine starke Druckdifferenz zwischen beiden großen Gefäßen schließt eine große, druckangleichende Anastomose aus. Bei weitgehender Annäherung von Aorten und Pulmonalisdruck kann sowohl ein großer Ductus als auch eine sekundäre pulmonale Hypertonie vorliegen. Eine Beziehung zwischen der Größe des Shuntvolumens und der Höhe des systolischen Druckes in der A.pulmonalis besteht offenbar nicht. Die Berechnung eines Korrelationskoeffizienten erbrachte bei den 3o Kindern nur einen Wert von r = + 0,4o (Abb.6)

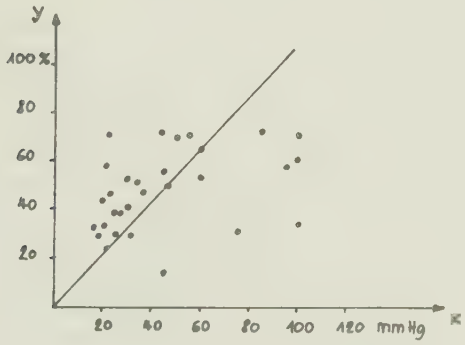

Abb.6: Verteilung der Werte für das Shuntvolumen y, das in Prozentwerten des Kleinkreislauf-Minutenvolumens angegeben ist, und der Werte für den systolischen Druck in der A.pulmonalis (x) um eine gemeinsame Regressionslinie. Die arithmetischen Mittelwerte des Shuntvolumens lagen dabei ca 1,1 mal über denen des Pulmonalisdrucks.

An der Verteilung der Punkte kann man erkennen, daß vor allem diejenigen mit systolischen Druckwerten der A.pulmonalis über 7o mmHg stark von der Regressionslinie abweichen. Man wird also nur bei normalen oder gering erhöhten Druckwerten im Lungenkreislauf einen Zusammenhang zwischen Druck und Shuntvolumen finden können.

c) Ventrikelseptumdefekt

Das Septum interventriculare besteht zum größten Teil aus Muskulatur, die eine durchschnittliche Dicke von 1 cm erreicht. An der Stelle, an der Septum interventriculare und Septum interatriale einander begegnen, findet sich ein Teil des Herzskelets, der als Pars membranacea septi interventricularis bezeichnet wird. Dieser Teil ist etwa 1 mm dick und transparent. Defekte im muskulären Anteil des Septums sind in der Regel sehr klein, in Ausnahmefällen können sie sich auch sekundär noch verschliessen (9). Die Größe solcher Defekte beträgt zwischen 0,3 und 1,0 cm im Durchmesser (2). Die im Septum membranaceum, meist subaortal gelegenen Defekte, bei denen die Pars membranacea den Anschluß an die Pars muscularis nicht gefunden hat, weisen meist größere Lichtungen auf. Diese Defekte dürften sich im Laufe der Zeit stark ausdehnen (9). Nach allgemeiner Ansicht ändert sich die Weite eines Kammerseptumdefektes in entsprechender Relation zur altersentsprechenden, bzw. herzfehlerbedingten Vergrößerung des Herzens.

Bei 51 Kindern mit Kammerseptumdefekten wurde 2o mal ein Defekt im muskulären Septum diagnostiziert, in 31 Fällen handelte es sich um Defekte des Septum membranaceum. Bei der mechanischen Austastung mit dem Herzkatheter gelang es nur bei 5 von 51 Kindern, den Defekt direkt zu passieren. Da also der direkte Nachweis nur selten geführt werden kann, ist die Bestimmung der Sauerstoffsättigung, fortlaufend von der oberen Hohlvene, der rechten Kammer bis zur Pulmonalarterie besonders wichtig. Bei hohen Defekten kann der Sauerstoffsprung oft erst in der A.pulmonalis erfaßt werden. Bei der Druckmessung kann man aus einem hohen systolischen Druckgradienten zwischen rechter und linker Kammer (für den Druck in der linken Kammer wurde in der Regel der systolische Blutdruck, gemessen nach RIVA-ROCCI, eingesetzt) unmittelbar auf einen kleinen Defekt mit einem Shuntvolumen schließen, das sicher selten über 2 l/min beträgt. Der Druck im rechten Herzen und im Lungenkreislauf ist in diesen Fällen normal oder nur ganz gering erhöht. Bei den mittelgroßen Defekten von 1 - 1,5 cm Durchmesser kann man mäßig erhöhte Druckwerte, die 4o - 7o mmHg nicht übersteigen, im rechten Ventrikel und im Lungenkreislauf erwarten. Auch hier ist also zwischen Lungen- und Körperkreislauf noch ein systolischer Druckgradient vorhanden. Die Shuntvolumina liegen unter diesen Verhältnissen in der Regel über 3 l/min. Das höchste Shuntvolumen bei den 51 untersuchten Kindern wurde mit 9,3 l/min errechnet. Es handelte sich um ein 9-jähriges Mädchen (E.B.), bei dem im rechten Ventrikel ein systolischer Druckwert von 5o mmHg bestimmt wurde. Der Blutdruck nach RIVA-ROCCI betrug 11o/7o mmHg.

Bei Defekten, die einen Durchmesser von 1,5 oder mehr cm aufweisen, kann man eine starke Druckerhöhung erwarten, die bis zum Druckangleich mit dem linken Ventrikel führt. In der Regel drosselt der zunehmende pulmonale Strömungswiderstand das Volumen des Links-Rechts-Shunts. Es kann zu einem gekreuzten Shunt oder evtl. zur vollständigen Shuntumkehr kommen. In dieser Aufstellung wurden nur solche Patienten berücksichtigt, bei denen der Links-Rechts-Shunt noch vorherrschte.
Abb.7 zeigt die Zusammenhänge zwischen der Größe des Shuntvolumens und der Höhe des systolischen Druckes in der A.pulmonalis. Die arithmetischen Mittelwerte des Pulmonalisdruckes (x) lagen 1,2 mal höher als die des Shuntvolumens, was aus dem Verlauf der Regressionslinie abzulesen ist.

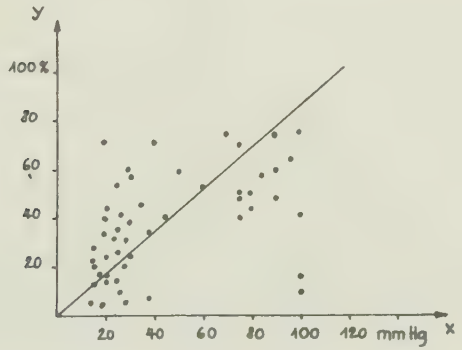

Abb.7: Verteilung der Werte von Shuntvolumen (y) und Druck in der A.pulmonalis (x) um die Regressionslinie bei 51 Kindern mit Ventrikelseptumdefekten. Die Regressionslinie verbindet die arithmetischen Mittelwerte von x und y.

Der Korrelationskoeffizient betrug für diese 51 Fälle + 0,50. Es zeigte sich also auch hier keine verwertbar straffe Beziehung zwischen dem Shuntvolumen und dem Druck in der A.pulmonalis. Da bei allen drei Fehlergruppen die Werte am meisten von der Regressionslinie abwichen, die für eine starke pulmonale Hypertonie sprachen, also über 7o mmHg systolisch betrugen, wurden bei der Berechnung der Gesamtkorrelation die 24 Kinder ausgeschlossen, bei denen Werte über 7o mmHg gemessen worden sind.

Bei den übrigen 97 Kindern wurde die Berechnung der Gesamtkorrelation nach folgender Formel vorgenommen:

$$r = \frac{S(x - Mx).(y - My)}{\sqrt{S(x - Mx)^2.(y - My)^2}}$$

Der PEARSONsche Korrelationskoeffizient betrug + 0,50 für 97 Kinder mit angeborenen Herzfehlern, bei denen die systolischen Druckwerte in der A.pulmonalis 7o mmHg nicht überstiegen. Abb.8.

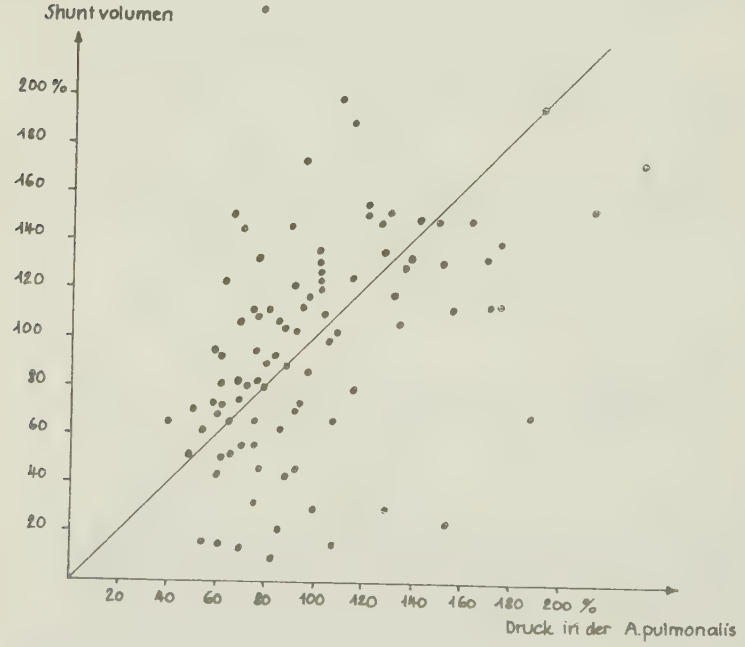

Abb.8: Die Regressionslinie verbindet die arithmetischen Mittelwerte des Shuntvolumens und des systolischen Drucks in der A.pulmonalis. Das Shuntvolumen wurde in Prozentwerten des Kleinkreislauf-Minutenvolumens angegeben. Die Mittelwerte wurden jeweils mit 100 eingetragen, die Absolutwerte entsprechend umgerechnet.
Für 97 Patienten mit Vorhofseptumdefekten, offenem Ductus Botalli und Ventrikelseptumdefekten ergab sich eine Gesamtkorrelation von + 0,50 .

Um den Grad der Streuung um den Mittelwert deutlich zu machen, wurde die Standardabweichung für diejenigen Shuntwerte berechnet, die sich bei den Untersuchungen für einen bestimmten Druck in der A.pulmonalis ergeben haben. Die Standardabweichung sigma betrug für den Vorhofseptumdefekt im Durchschnitt $\pm$ 19,8 , für den Ductus Botalli $\pm$ 15,8 und für den Ventrikelseptumdefekt $\pm$ 18,5 . Innerhalb der 1-sigma-Grenze waren 66 % aller errechneten Shuntmengen zu finden, innerhalb der 2-sigma-Grenze sogar 95 % aller Werte, Abb.9 .

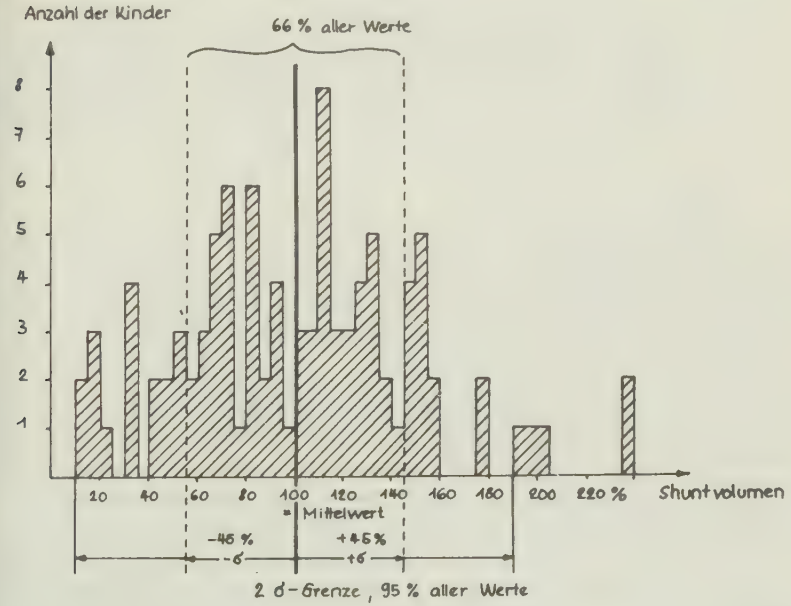

Abb.9: Auf der Abszisse sind die Shuntmengen aufgetragen. Der arithmetische Mittelwert wurde mit 100 % angesetzt, die Absolutwerte entsprechend umgerechnet. Der Sigma-Wert für alle 97 Patienten entspricht dann $\pm$ 45. Der 2-sigma-Bereich umfaßt also die Strecke von 10 % bis 190 %, innerhalb dieser Grenze liegen 95 % aller errechneten Shuntmengen.
Auf der Ordinate ist die Anzahl der Kinder eingetragen.

Art der Mißbildung	Vorhofseptum-defekt	Ductus Botalli	Ventrikel-septumdef.
Fallzahl	35	24	38
systolischer Druck in der A.pulmonalis, mm Hg	29	34	26
Shuntvolumen in % des Kleinkreislauf-Minutenvolumens	54	47	3o
Korrelationskoeffizient	r = + 0,48	r = + 0,50	r = + 0,52

Tab.4: Zusammenfassende Aufstellung der Durchschnittswerte von Shuntvolumen und systolischem Druck in der A.pulmonalis nach Ausschluß der Fälle mit starker pulmonaler Hypertonie über 7o mmHg. Außerdem sind die Korrelationskoeffizienten für die einzelnen Fehler eingetragen. Die Werte stammen von 97 Kindern mit angeborenen Herzfehlern.

2. Beziehung zwischen Shuntvolumen und systolischem Druck im rechten Ventrikel :

Ebenso wie bei dem Vergleich zwischen Shuntvolumen und systolischem Druck in der A.pulmonalis wurden hier die Fälle mit starker pulmonaler Hypertonie, d.h. bei systolischen Werten über 7o mmHg, ausgeklammert. Bei den Untersuchungen wurden lediglich 1oo Kinder mit systolischen Ventrikeldruckwerten unter 7o mmHg berücksichtigt. Eine brauchbare positive Korrelation zwischen Shuntvolumen und Ventrikeldruck ergab sich jedoch nur bei 39 Patienten mit Ventrikelseptumdefekten, bei denen ein Korrelationskoeffizient von + 0,62 errechnet werden konnte (Abb.1o). Bei Vorhofseptumdefekten und bei den Kindern mit offenem Ductus Botalli fanden sich Werte von r = + 0,25 bzw. r = + 0,31 , was einer nur sehr geringen Beziehung zwischen dem Shuntvolumen und den systolischen Ventrikeldruckwerten entspricht.
Die Gesamtkorrelation für alle 1oo Patienten betrug + 0,41, s.Abb.11.
Als Standardabweichung sigma wurde ein Wert von ± 1[illegible],2 errechnet. Innerhalb der 1-sigma-Grenze lagen 64 % , innerhalb der 2-sigma-Grenze 93 % aller errechneten Shuntmengen.

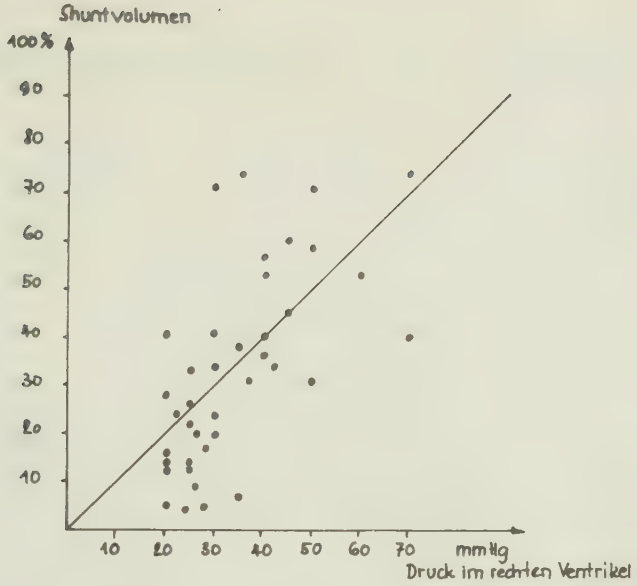

Abb.1o: auf der Abszisse wurde der systolische Ventrikeldruck in mmHg, auf der Ordinate das Shuntvolumen in %-Werten des Kleinkreislauf-Minutenvolumens aufgetragen. Die Regressionslinie verbindet die arithmetischen Mittelwerte von Druck und Shuntvolumen. Es ließ sich ein Korrelationskoeffizient von + 0,62 errechnen.
Die Werte stammen von 39 Kindern mit Ventrikelseptumdefekten, bei denen der systolische Druckwert im rechten Ventrikel 7o mmHg nicht überstieg.

Art der Mißbildung	Vorhofseptum-defekt	Ductus Botalli	Ventrikel-septumdef.
Fallzahl	38	23	39
Druck im rechten Ventrikel, systolisch mmHg	42	4o	34
Shuntvolumen in %-Werten des Kleinkreislauf-minutenvolumens	55	46	34
Korrelationskoeffizient	+ 0,25	+ 0,31	+ 0,62

Tab.5: Zusammenstellung der Durchschnittswerte für Druck im rechten Ventrikel und Shuntvolumen bei 1oo Kindern mit angeborenen Herzfehlern. Es wurden nur Fälle berücksichtigt, bei denen der Druck 7o mmHg im Lungenkreislauf nicht überstieg.

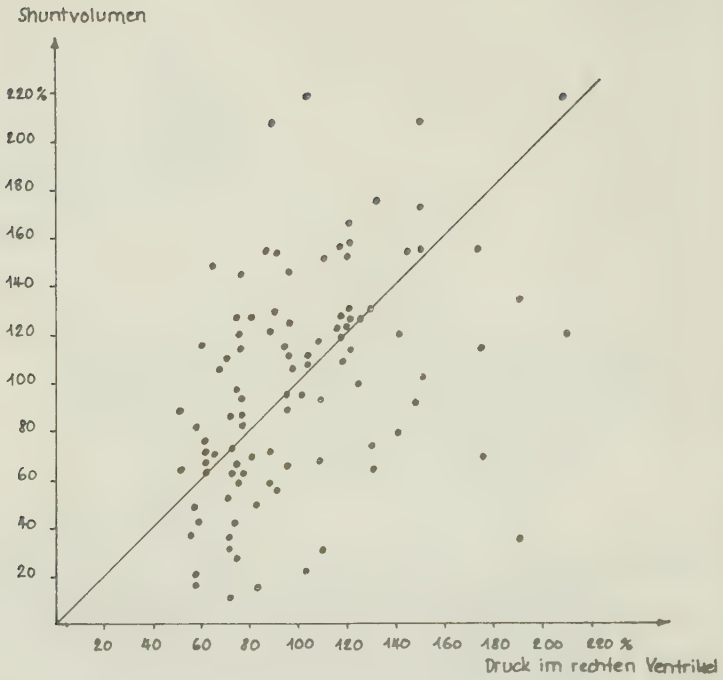

Abb.11: Verteilung der Werte von Shuntvolumen und Druck im rechten Ventrikel um eine gemeinsame Regressionslinie. Auf Abszisse und Ordinate wurden die arithmetischen Mittelwerte der beiden Variablen mit 100 % angegeben, die Absolutwerte entsprechend umgerechnet. Es handelte sich um 100 Kinder mit Vorhofseptumdefekten, offenem Ductus Botalli und Ventrikelseptumdefekten. Die Gesamtkorrelation wurde mit r = + 0,41 errechnet. Innerhalb der 2-sigma-Grenze lagen 93 % aller Shuntmengen.

3. Vergleich von Ventrikeldruckquotient Q_V und Shuntvolumen:

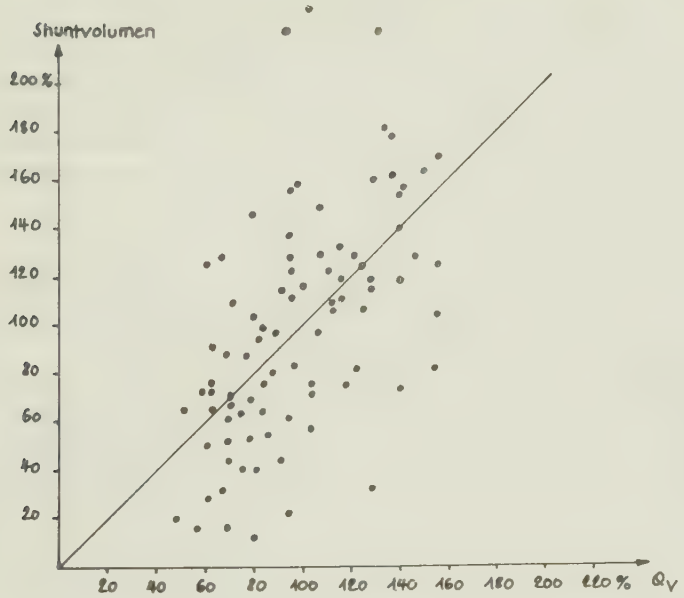

Abb. 12: Verteilung der Werte von Ventrikeldruckquotient und Shuntvolumen um eine gemeinsame Regressionslinie. Die Mittelwerte wurden jeweils mit 100 % angegeben, die Absolutwerte entsprechend umgerechnet. Es ergab sich eine Gesamtkorrelation von r = + 0,54. Die Werte stammen von 89 Kindern mit Vorhofseptumdefekten, offenem Ductus Botalli und Ventrikelseptumdefekten.

Da bei den Druckwerten im Kleinkreislauf allein keine befriedigenden Zusammenhänge mit der Größe des Shuntvolumens gefunden werden konnten, soll nun versucht werden, eine Beziehung des Kurzschlußvolumens zum Druckquotienten zwischen rechter und linker Kammer zu errechnen. Da die Verteilung der Muskelmasse abhängig von der Arbeitsleistung des linken und des rechten Ventrikels ist, kann der Ventrikelquotient als Maßzahl

für das Muskelmassenverhältnis beider Kammern angesehen werden. Bei normalen Verhältnissen, d.h. bei einem rechtsventrikulären Druck von 25 mmHg und einem systolischen Druck im linken Ventrikel von 1oo mmHg läßt sich ein Q_v von 0,25 errechnen. Eine mäßige Druckerhöhung im rechten Ventrikel bis 7o mmHg ergibt Quotienten bis 0,6 ; bei Druckangleich zwischen beiden Kammern beträgt Q_v dann 1,0 . Bei der Auswertung der Ergebnisse von allen 121 Kindern zeigte sich, daß bei Ventrikeldruckquotienten, die höher als 0,6 lagen, keine ausreichende positive Korrelation zwischen dem Shuntvolumen und dem Ventrikeldruckquotienten zustande kam. Der Gesamtkorrelationskoeffizient lag mit + 0,3o sehr niedrig. In die Berechnungen wurden also nur die Patienten aufgenommen, die Werte bis 0,6 aufwiesen. 32 Patienten, bei denen auf grund einer stärkeren pulmonalen Drucksteigerung die Ventrikelquotienten Werte zwischen 0,6 und 1,0 annahmen, wurden nicht berücksichtigt.
Die beste Korrelation ergab sich wiederum beim Ventrikelseptumdefekt. Bei 36 Kindern konnte ein Korrelationskoeffizient von r = + 0,66 gefunden werden, also ein sicher brauchbares Ergebnis. Beim Vorhofseptumdefekt kam man immerhin noch auf einen Wert von r = + 0,5o , während beim offenen Ductus Botalli r nur + 0,4o betrug. Als Gesamtkorrelation konnte bei diesen 89 Kindern +0,54 ermittelt werden. Bei einer Standardabweichung von sigma $\pm$ 18,4 lagen 65 % aller Werte innerhalb der 1-sigmagrenze. Innerhalb der 2-sigma-Grenze waren 94 % der Werte zu finden. Abb.12.

Art der Mißbildung Fallzahl	Vorhofseptumdefekt 31	Ductus Botalli 22	Ventrikelseptumdef. 36
Ventrikeldruckquotient	0,39	0,35	0,32
Shuntvolumen in Prozentwerten des Kleinkreislaufminutenvolumens	54	45	32
Korrelationskoeffizient	r = + 0,5o	r = + 0,4o	r = + 0,66

Tab.6: zusammenfassende Darstellung der Durchschnittswerte von Shuntvolumen und Ventrikeldruckquotient bei 89 Kindern mit Vorhofseptumdefekten, offenem Ductus Botalli und Ventrikelseptumdefekten.

4. Beziehungen zwischen dem Summenquotienten Q_s und dem Shuntvolumen :

Der Summenquotient stellt einen Quotienten aus drei rechtspräkordialen und drei linkspräkordialen Ableitungen des Elektrokardiogramms dar. Er dient der quantitativen Auswertung der Relationskurven. Dabei wird so vorgegangen, daß rechtspräkordial die Summe der Werte aus den Ableitungen V_{3r} , V_1 und V_2, linkspräkordial aus den Ableitungen V_4 , V_5 und V_6 bestimmt werden. Daraufhin wird ein Quotient aus den Summen von rechts zu links gebildet (1o) :

$$\frac{\text{Prozentwerte } V_{3r} + V_1 + V_2}{\text{Prozentwerte } V_4 + V_5 + V_6}$$

Hohe Prozentwerte in den rechtspräkordialen Ableitungen sprechen für eine Rechtshypertrophie. Als Beispiel die Kurve eines 11-jährigen Kindes (L.S.) mit großem Vorhofseptumdefekt in Sekundumposition; für Q_s wurde in diesem Fall ein Wert von 1,4 errechnet. Die Kurve beginnt in V_{3r} weit oberhalb der Null-Linie mit 84 % für das Verhältnis von R zu R + S . Die Null-Linie entspricht dabei 5o % . Die Kurve fällt dann in steilem Verlauf bis zu einem Wert von 43 % in V_6 ab. Abb.13.

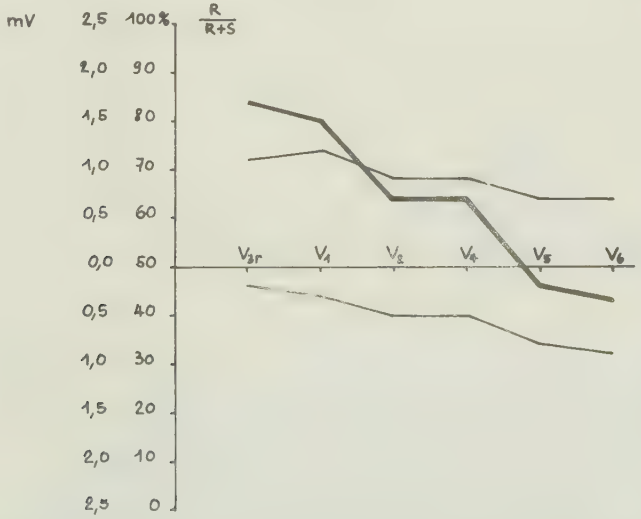

Abb.13. die obere Linie verbindet die Gipfelpunkte der R-Zacken, die untere Linie die der S-Zacken. Stark ausgezogen ist die Relationskurve von R zu R+S. Die Werte stammen von einem 11-jährigen Kind mit großem Vorhofseptumdefekt in Sekundumposition. Über den Defekt erfolgte ein großer Links-Rechts-Shunt von 8,7 l/min.

Beim Ductus Botalli sieht man in der Regel eine Verstärkung der physiologischen Linkshypertrophie. Nur bei steigendem Druck im Lungenkreislauf, wenn der rechte Ventrikel eine zusätzliche Druckarbeit zu leisten hat, kann es in seltenen Fällen zu einer Doppelhypertrophie kommen. Wesentlich häufiger allerdings, als beim Ductus Botalli kommt es beim Ventrikelseptumdefekt zur Ausbildung einer Doppelhypertrophie. Den geringsten Grad einer solchen Doppelhypertrophie kann man nach J.Schmidt bereits aus dem linkstypischen Elektrokardiogramm einerseits und der Rechtsverspätung andererseits erkennen. Diese Rechtsverspätung sieht man bei normalen Druckwerten im rechten Ventrikel als Ausdruck einer Volumenbelastung. Deutlicher wird die Doppelhypertrophie bei den großen und mittelgroßen Defekten (mit noch reinem Links-Rechts-Shunt); je nach der Größe des Shunts und der Höhe des Druckes im rechten Ventrikel und im Lungenkreislauf sieht man neben den Zeichen einer Volumenüberlastung der linken Kammer eine mehr oder minder ausgeprägte Rechtshypertrophie, Abb.14.

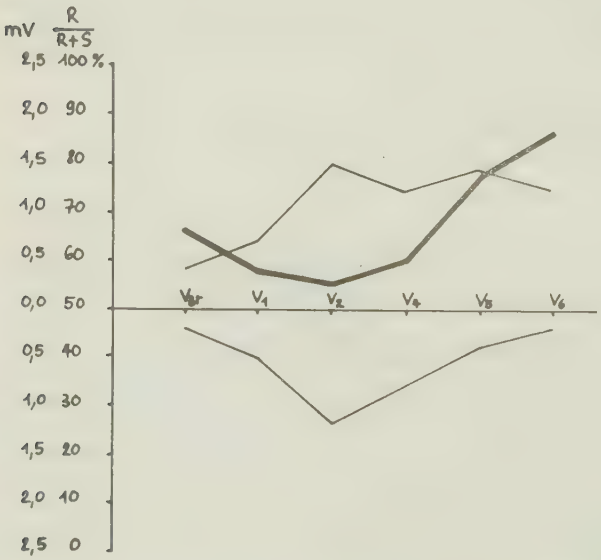

Abb.14: die dünn gezeichneten Linien verbinden die Gipfelpunkte der R- bzw. der S-Zacken. Stark ausgezeichnet ist die Relationskurve, die das Verhältnis von R zu R+S in Prozentwerten angibt. Die Kurve stammt von einem 7-jährigen Kind (H.S.) mit einem mittelgroßen Ventrikelseptumdefekt und mäßiger pulmonaler Drucksteigerung. Muldenform der Relationskurve. $Q_s = 0{,}68$.

Bei den vergleichenden Untersuchungen zwischen dem Summenquotienten und dem Shuntvolumen zeigte sich, daß wiederum nur bei solchen Kindern eine einigermaßen gute Übereinstimmung gefunden werden konnte, die keine stärkere pulmonale Drucksteigerung, also über 7o mmHg systolisch, aufwiesen. Die Untersuchungen wurden an den Patienten durchgeführt, bei denen der Q_v höchstens einen Wert von 0,6 erreichte, Abb.15.

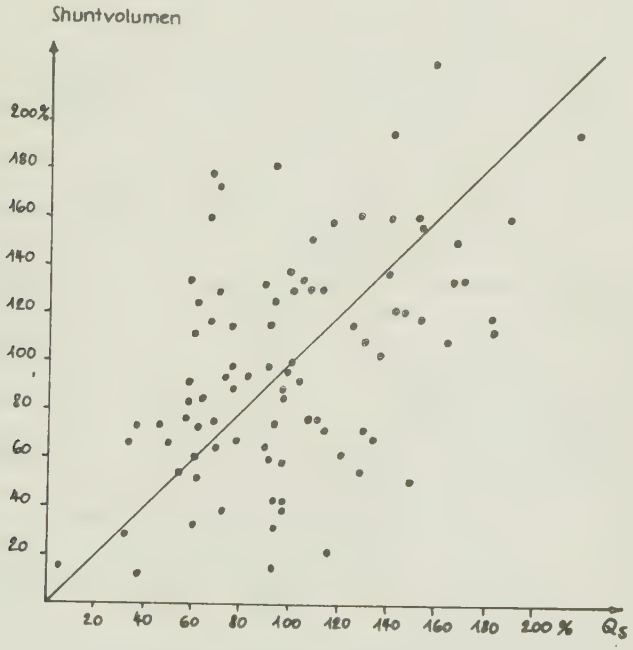

Abb.15: Die Beziehung von Summenquotienten zu den Shuntvolumina wird durch die Punkteverteilung um eine gemeinsame Regressionslinie dargestellt. Das Shuntvolumen ist wiederum in Prozentwerten des Kleinkreislaufminutenvolumens angegeben. Die arithmetischen Mittelwerte von Shunt und Summenquotienten wurden mit 1oo % bezeichnet, die Absolutwerte entsprechend umgerechnet. Es handelt sich um 89 Patienten mit Vorhofseptumdefekten, offenem Ductus Botalli und Ventrikelseptumdefekten.

Dabei zeigte sich, daß sowohl beim Vorhofseptumdefekt als auch beim Ventrikelseptumdefekt mit einigermaßen guter Genauigkeit von den Summenquotienten Q_s auf die Größe des Shuntvolumens geschlossen werden kann. Die Korrelationskoeffizienten betrugen in beiden Gruppen + 0,59 . Auffallend war, daß bei den 22 Kindern mit offenem Ductus Botalli die Korrelation mit + 0,09 sehr schlecht war . Dies bedeutet, daß hier praktisch kein Zusammenhang zwischen der Größe des Shunts und elektrokardiographischen Veränderungen besteht. Die Korrelation wurde auch dadurch nicht günstiger, daß der Auswahl der Q_s -Werte anstatt der Ventrikeldruckquotienten ein Quotient zugrunde gelegt wurde, der aus dem systolischen Pulmonalisdruck und dem arteriellen systolischen Druck gebildet wurde. Der Korrelationskoeffizient betrug dann + 0,1o , Tab.7 .

Art der Mißbildung Fallzahl	Vorhofseptumdefekt 31	Ductus Botalli 22	Ventrikelseptumdef. 36
Summenquotient Q_s	1,oo	0,61	o,74
Shuntvolumen in Prozentwerten des Kleinkreislauf-Minutenvolumens	54	45	32
Korrelationskoeffizient	r = + 0,59	r = + 0,1o	r = + 0,59

Tab.7: Durchschnittswerte des Summenquotienten und des Shuntvolumens bei 89 Kindern mit angeborenen Herzfehlern.

Es zeigt sich also, daß man nur bei Kindern mit Vorhofseptum- und Kammerseptumdefekten, nicht aber bei denen mit offenem Ductus Botalli, von den Veränderungen im Elektrokardiogramm auf die Größe des Kurzschlußvolumens, d.h. auf den Grad der Volumenüberlastung des Lungenkreislaufs geschlossen werden kann. Für alle 89 Patienten wurde eine Standardabweichung von sigma = $\pm$ 18,9 bestimmt. 73 % aller Shuntmengen lagen innerhalb der 1-sigma-Grenze, innerhalb der 2-sigma-Grenze fanden sich 96 % aller Werte. Die Gesamtkorrelation betrug + 0,48 .

5. Körperliche Entwicklung und Shuntvolumen:

Zum Abschluß soll zusätzlich noch untersucht werden, ob und wie weit die Schwere der verschiedenen Herz-Gefäß-Fehler einen Einfluß auf die körperliche Entwicklung der Kinder hat, d.h. ob man aus dem Somatogramm auf das Ausmaß der Shuntvolumina in den einzelnen Fehlergruppen schließen kann.
Den angeborenen Herzfehlern, die mit einem Links-Rechts-Shunt einhergehen, ist eine Volumenüberlastung des Lungenkreislaufs auf Kosten des Großkreislaufs gemeinsam. Kinder mit derartigen Anomalien sehen meist blaß aus und gedeihen schlecht; man spricht in diesen Fällen geradezu von einem kardialen Infantilismus. Im Gefolge des erhöhten Lungenzirkulationsvolumens, das in vielen Fällen auf das 2- bis 3-fache erhöht sein kann, kommt es bei diesen Kindern zu gehäuften Infekten der Atemwege. Eine nicht geringe Anzahl der hier untersuchten Patienten hatte bereits einmal oder mehrere Male eine Pneumonie durchgemacht, vorwiegend im Säuglings- und Kleinkindesalter. In etwa der Hälfte der Fälle wurde in der Anamnese über schlechten oder wechselnden Appetit geklagt; aber nicht nur bei diesen Kindern, sondern auch bei denen mit gutem oder sehr gutem Appetit, fiel eine körperliche Unterentwicklung auf, die sowohl die Körpergröße als auch das Körpergewicht betraf. Wesentlich häufiger allerdings als ein Längendefizit war ein Untergewicht zu beobachten, das zum Teil mehr als 2 kg, auf die Istlänge bezogen, betrug. Die Körperlänge entsprach in etwa 50 % der Altersnorm, während nur 35 % der Kinder das durchschnittliche Gewicht ihrer Altersgenossen erreichten (Abb.16) Die körperliche Entwicklung wird durch die einzelnen Fehler in unterschiedlichem Ausmaß beeinträchtigt. Das schlechteste Somatogramm sah man bei Kindern mit Vorhofseptumdefekten, während durch den Ventrikelseptumdefekt die normale Entwicklung doch in einem nicht geringen Prozentsatz erreicht werden kann.
Nach Berechnung der Shuntvolumina wurde versucht, zwischen dem Grad der körperlichen Entwicklung und der Größe des Kurzschlußvolumens Zusammenhänge zu finden. Für die einzelnen Fehler wurden dabei die Durchschnittswerte des Shuntvolumens errechnet, die sich a) bei normaler körperlicher Entwicklung,

b) bei einem Untergewicht bis zu 2 kg, auf die Istlänge bezogen,

c) bei einem Untergewicht von mehr als 2 kg, wieder auf die Istlänge bezogen, ergeben haben. Dabei zeigte sich, daß man weder beim Ventrikelseptumdefekt, noch beim offenen Ductus Botalli von der körperlichen Entwicklung auch nur annähernd auf die Größe des Shuntvolumens schließen kann. Eine gute Übereinstimmung fand sich jedoch bei den Kindern mit Vorhofseptumdefekten (Abb.17 und Tab.8).

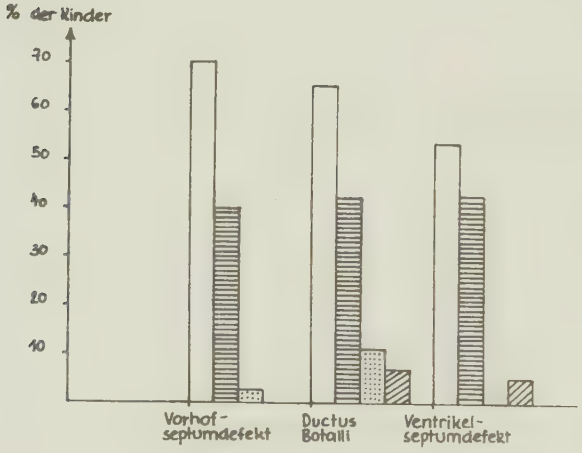

Abb.16: Unterlänge ▤ Überlänge ⬚
Untergewicht □ Übergewicht ▨

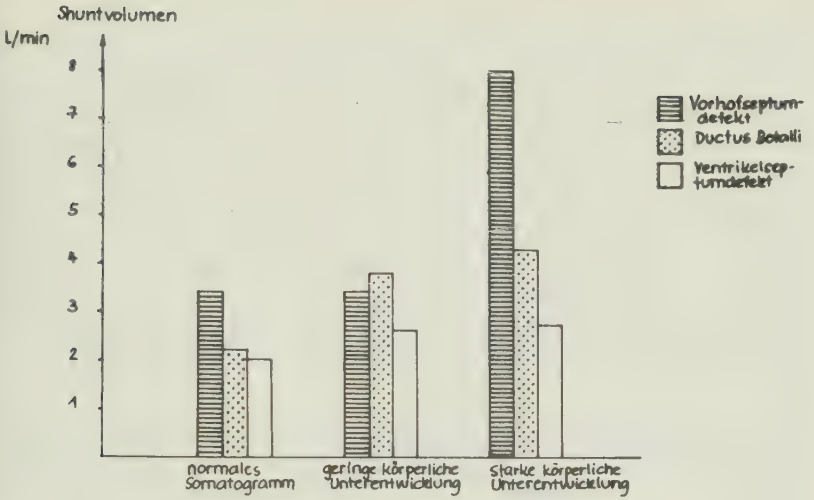

Abb.17: Das Verhalten der Shuntvolumina bei den verschiedenen Graden der körperlichen Entwicklung werden aufgezeigt. Die Shuntvolumina stellen arithmetische Mittelwerte dar.

	normal	gering unterentw.	stark unterentw.
Vorhofseptumdefekt 40 Kinder			
Shunt unter 2 l/min	4	6	1
2 - 4 l/min	3	4	1
über 4 l/min	5	4	12
Ductus Botalli 30 Kinder			
Shunt unter 2 l/min	4	1	2
2 - 4 l/min	6	3	4
über 4 l/min	2	3	5
Ventrikelseptum-defekt 51 Kinder			
Shunt unter 2 l/min	14	6	5
2 - 4 l/min	6	3	8
über 4 l/min	2	1	6

Tab.8: Angaben über die Größe des Shuntvolumens im Verhältnis zur körperlichen Entwicklung. Die Werte stammen von 121 Kindern mit Vorhofseptumdefekten, offenem Ductus Botalli und Ventrikelseptumdefekten.

III. Besprechung der Untersuchungsergebnisse:

Die vergleichenden Untersuchungen zwischen hämodynamischen Größen und Veränderungen im Elektrokardiogramm stießen zunächst auf Schwierigkeiten, da mit steigendem Druck im Lungenkreislauf und im rechten Herzen die Korrelationen zwischen dem Shuntvolumen und den Druckwerten einerseits, aber auch zwischen den Shuntwerten und den Summenquotienten andererseits, negativ wurden. Es wurden daher aus 121 Patienten die Fälle ausgeschlossen, bei denen der Druck im Kleinkreislauf 7o mmHg systolisch überstieg. Jedoch konnten auch bei dieser Auswahl nur sehr unzureichende positive Gesamtkorrelationen errechnet werden, Tab.9.

Art der Mißbildung	Vorhofseptum-defekt	Ductus Botalli	Ventrikel-septumdef.
Fallzahl	35	24	38
Korrelation zwischen Shunt und systolischem Pulmonalisdruck	r = + 0,48	r = + 0,5o	r = + 0,52
Gesamtkorrelation	r = + 0,5o		
Fallzahl	3?	23	3?
Korrelation zwischen Shunt und Druck im rechten Ventrikel	r = + 0,25	r = + 0,31	r = + 0,??
Gesamtkorrelation	r = + 0,41		
Fallzahl	31	22	3?
Korrelation zwischen Shunt und Ventrikeldruckquotienten	r = + 0,5o	r = + 0,4o	r = + 0,??
Gesamtkorrelation	r = + 0,54		
Fallzahl	31	22	3?
Korrelation zwischen Shunt und Summenquotienten	r = + 0,5?	r = + 0,1o	r = + 0,59
Gesamtkorrelation	r = + 0,4?		

Tab.9: Zusammenfassende Übersicht über die Korrelationen zwischen Shuntgröße und Druckverhältnissen im rechten Herzen und im Lungenkreislauf und zwischen Shuntgröße und elektrokardiographischen Veränderungen bei Kindern mit angeborenen Herzfehlern.

Ganz allgemein kann man sagen, daß sowohl zwischen den Druckwerten und dem Shuntvolumen als auch zwischen den Veränderungen im Elektrokardiogramm und den Shuntvolumina lediglich bei den Kindern mit Ventrikelseptumdefekten brauchbare positive Korrelationen bestehen. Die beste Korrelation ergab sich für den Ventrikelseptumdefekt beim Vergleich des Shuntvolumens mit dem Ventrikeldruckquotienten mit r = + 0,66 . Die Kenntnis der Druckwerte ermöglicht in diesem Fall einen ungefähren Überblick über die Menge des kurzgeschlossenen Blutes.
Die geringsten Übereinstimmungen fanden sich beim offenen Ductus Botalli; der höchste erreichte Korrelationskoeffizient konnte beim Vergleich des Shuntvolumens mit dem Druck in der A.pulmonalis errechnet werden, er betrug + 0,5o , stellt also sicher kein verwertbares Ergebnis dar.
Für den Vorhofseptumdefekt scheint lediglich zwischen dem Summenquotienten des Elektrokardiogramms und dem Shuntvolumen eine engere positive Korrelation zu bestehen.
Es zeigte sich also, daß es mit Hilfe dieser Berechnungen nicht möglich ist, aus den Druckwerten im Herzen und im Lungenkreislauf auf die Größe arterio-venöser Kurzschlußvolumina zu schliessen. Außerdem lassen sich auch aus dem Elektrokardiogramm keine exakten Angaben über die Volumenverhältnisse des Kleinkreislaufs ablesen. Man wird sich bestenfalls einen ganz groben Überblick verschaffen können.

IV. Zusammenfassung:

Bei 121 Kindern mit angeborenen Herzfehlern wurden zunächst die Volumina von Groß- und Kleinkreislauf berechnet, danach die Blutmengen, die über die Defektbildungen im Vorhof- oder Kammerseptum oder über einen offenen Ductus Botalli kurzgeschlossen wurden. Zur Volumenberechnung ist die Kenntnis des Sauerstoffverbrauchs in der Minute erforderlich. Eine genaue Messung ist im Säuglings- und Kleinkindesalter unter Katheterbedingungen nicht durchführbar, daher wird man zur Berechnung angenäherte Werte verwenden. Es wurden hier zwei verschiedene Arten der Sauerstoffbestimmung betrachtet. Den von RUDOLPH und CAYLER angegebenen Werten ist der Vorzug zu geben, sie liegen durchschnittlich um 60 % über den Werten der Standardtabelle nach HARRIS-BENEDICT.
Die bei der venösen Herzkatheterung gewonnenen Angaben über Druck- und Volumenverhältnisse des Herzens und des Lungenkreislaufs wurden zueinander in Verbindung gebracht, dabei ließen sich keine eindeutigen positiven Korrelationen errechnen. Lediglich für die Gruppe der Kinder mit Ventrikelseptumdefekten fand sich eine gute Übereinstimmung zwischen Shuntvolumen und Ventrikeldruckquotienten.
Nach quantitativer Auswertung der Relationskurven des Elektrokardiogramms wurden dann Korrelationen zwischen den Summenquotienten und den Shuntvolumina aufgestellt. Es zeigte sich jedoch, daß auch hier die Zusammenhänge nicht so straff waren, als daß man mit ausreichender Genauigkeit aus den elektrokardiographischen Veränderungen auf die Größe des Kurzschlußvolumens schließen könnte.

V. Literaturverzeichnis

1. Bargmann, W.: Bau des Herzens; Das Herz des Menschen I, Thieme-Verlag Stuttgart 1963.

2. Bayer,O.,Loogen,F., Wolter,H.,: Der Herzkatheterismus bei angeborenen und erworbenen Herzfehlern; Thieme-Verlag Stuttgart 1954.

3. Bayer, O., Wolter, H.: Atlas intrakardialer Druckkurven; Thieme-Verlag Stuttgart 1959.

4. Delius, L., Goerttler, Kl., Tobien, H.-H., Schlepper, M.: Klinische Physiologie des Herzens; Das Herz des Menschen II; Thieme-Verlag Stuttgart 1963.

5. Derra, E., Bayer, O., Wolter, H.: Konservative und chirurgische Behandlung angeborener und erworbener Herzfehler, 3 Vorträge; Thieme-Verlag Stuttgart 1959.

6. Doerr, W., Schiebler, Th.: Pathologische Anatomie des Reizleitungssystems; Das Herz des Menschen II; Thieme-Verlag Stuttgart 1963.

7. Koecher, P.: Klinische Diagnostik für den Kinderarzt; Enke-Verlag Stuttgart 1964.

8. Fanconi, G., Wallgren, A.: Lehrbuch der Pädiatrie; Schwabe & Co-Verlag Basel/Stuttgart 1963.

9. Goerttler, Kl.: Die Mißbildungen des Herzens und der großen Gefäße; Das Herz des Menschen I; Thieme-Verlag Stuttgart 1963.

10. Gutheil, H.: Die Bestimmung des Druckes in den Herzkammern mit Hilfe des Elektrokardiogramms bei angeborenen Herzfehlern; Beihefte zum Archiv für Kinderheilkunde, Heft 50; Enke-Verlag Stuttgart 1964.

11. Holldack, K., Wolf, D.: Atlas und kurzgefaßtes Lehrbuch der Phonokardiographie; Thieme-Verlag Stuttgart 1956.

12. Rein/Schneider: Physiologie des Menschen; Springer-Verlag Berlin-Göttingen-Heidelberg 1960.

13. Rudolph & Cayler: Cardiac Catheterism in Infants and Children; 5, 907, 1959 Pediatric Clinics.

14. Schlange, H.: Die körperliche und geistige Entwicklung bei Kindern mit angeborenen Herz- und Gefäßmißbildungen; Beihefte zum Archiv für Kinderheilkunde, Heft 47; Enke-Verlag Stuttgart 1962.

15. Schmidt, J.: Hämodynamik und Elektrokardiogramm; Verlag Urban & Schwarzenberg München/Berlin 1961.

L e b e n s l a u f

Am 14.Februar 1941 wurde ich, Walburga Bayer, als Tochter des Architekten Rudolf Bayer und seiner Ehefrau Walburga, geborene Wolf, in Prag/CSR geboren. Bis zum Kriegsende wohnten wir in Prag, anschließend bis zur Vertreibung im Jahre 1946 in Heinrichsgrün im Riesengebirge. Danach lebten wir in Rodleben, Kreis Zerbst, in der sowjetisch besetzten Zone, bis wir 1947 die Zuzugsgenehmigung nach dem Westen erhielten.
Im September 1947 wurde ich in Prien/Chiemsee eingeschult. Im Frühjahr 1951 übersiedelten meine Eltern nach Großsachsenheim, Kreis Ludwigsburg. Im Herbst dieses Jahres trat ich in die erste Klasse des Aurain-Gymnasiums in Bietigheim/Württ. ein, wo ich am 3. März 1960 mein Abitur ablegte.
Mit dem Sommer-Semester 1960 begann ich an der Universität München mit dem Medizinstudium. Im Sommer-Semester 1961 immatrikulierte ich mich an der Universität Erlangen-Nürnberg, wo ich am 24.Juli 1961 den naturwissenschaftlichen Abschnitt der ärztlichen Vorprüfung ablegte. Die ärztliche Vorprüfung fand am 4.März 1963 statt. Nach sechs Semestern klinischen Studiums bestand ich am 15.August 1966 das medizinische Staatsexamen.

Walburga Bayer

Offsetdruck - Fotodruck
Josef Hogl
8520 Erlangen, Brüxerstraße 9, (Nähe Röthelheimbad,) Tel. 15336

Offsetdruck - Fotodruck
- J. Hogl, Erlangen, Brüxer Straße 9, (Nähe Röthelheimbad) Telefon 15336½ -